

5. Рукес Б., Тауд Р.. Современные технологии и перспективы выработки энергии на основе органических топлив // Газотурбинные технологии. 2003. № 5. С. 6–10.
6. Попырин Л. С., Дильман М. Д. Эффективность технического перевооружения ТЭЦ на базе парогазовых установок // Теплоэнергетика. 2006. № 2. С. 34–39.
7. Ольховский Г. Г. Масштабы и особенности применения газотурбинных и парогазовых установок за рубежом // Теплоэнергетика. 2002. № 9. С. 72–77.
8. Новикова Т. В., Ерохина И. В., Хорошев А. А. Масштабы внедрения ПГУ и ГТУ в среднесрочной перспективе // Газотурбинные технологии. 2005. № 9. С. 6–9.
9. Воронин В. П., Романов А. А., Земцов А. С. Пути технического перевооружения электроэнергетики // Теплоэнергетика. 2003. № 9. С. 2–6.
10. Молочко Ф. И., Молочко А. Ф. Способы регулирования нагрузки Белорусской энергосистемы после ввода АЭС // Энергетика и ТЭК. 2011. № 6. С. 18–26.
11. Романюк В. Н., Бобич А. А., Коломыцкая Н. А. Выбор схем парогазовых установок при модернизации паротурбинных ТЭЦ // Энергия и Менеджмент. 2013. № 3. С. 11–15.
12. Повышение эффективности ГТУ в летний период / В. Н. Романюк, А. А. Бобич, Н. А. Коломыцкая [и др.] // Энергия и Менеджмент. 2011. № 1. С. 18–22.
13. Романюк В. Н., Бобич А. А., Мальков С. В. Абсорбционные или парокомпрессионные тепловые насосы в схемах ТЭЦ // Энергия и Менеджмент. 2013. № 4–5. С. 7–10.
14. Регулирование генерации электроэнергии при повышении эффективности использования ТЭЦ / В. Н. Романюк, А. А. Бобич, Н. А. Коломыцкая [и др.] // Известия ВУЗов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. 2012. № 2. С. 67–78.

УДК 621.313.333

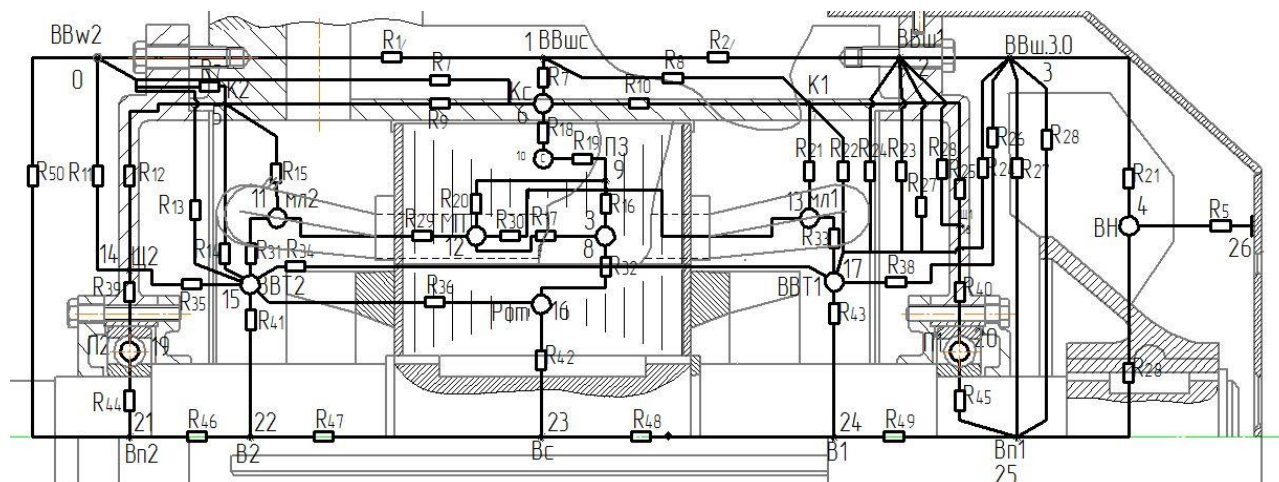
Боровских М. О., Нечаев А. В., Денисенко В. И.  
Уральский федеральный университет,  
kem\_em@urfu.ru

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗАКРЫТОГО ИСПОЛНЕНИЯ**

Задачей данной исследовательской работы была разработка методики теплового расчета асинхронного двигателя с целью проверки выполнения требований по допустимому уровню нагрева активных частей машины, указанных в техническом задании на проектирование. Данная методика была разработана с привлечением специальной литературы, посвященной охлаждению асинхронных двигателей, аэродинамике и теплопередаче в электрических машинах. Все коэффициенты теплоотдачи поверхностей рассчитывались по эмпирическим критериальным формулам, полученным на основе многолетних исследований, проводимых на опытных образцах [1].

Для разработки методики теплового расчета использован метод эквивалентных тепловых схем. На первом этапе создания программы была составлена ЭТС двигателя (см. рисунок). При составлении эквивалентной тепловой схемы было выделено 12 тел, часть которых является источником тепла: бочка ротора,

вентилятор, пазовая и лобовая части обмотки статора, подшипниковые узлы, зубцы, ярмо статора и 50 тепловых сопротивлений, соответствующих направлению основных потоков тепла.



Эквивалентная тепловая схема асинхронного двигателя

Различное сопротивление сердечника собственным внешним тепловым потокам учтено соответствующим включением термических сопротивлений по методике, описанной в [1, п. 2.6].

Расчет выполнен с учетом подогрева воздуха во внешнем контуре вентиляции [2]. Узлы охлаждающего потока имеют особенности. Поток охлаждающей среды разбивается на 4 узла, граничащих с соответствующими элементами конструкции корпуса двигателя: со станиной, задним и передним подшипниковыми щитами, а также с вентилятором. Причем каждый узел охладителя связывается не только с омываемым элементом конструкции, но и с элементом, который омывается предшествующим элементом (узлом) охладителя. Особенностью узлов охлаждающего потока является отсутствие свойства взаимности: предыдущий узел влияет на последующий, но обратного влияния нет. Эта особенность учитывается с помощью проводимостей одностороннего действия.

Следующим этапом стал расчет тепловых сопротивлений и составление матрицы проводимостей. Заключительный этап расчета содержит в себе составление матрицы источников тепла (с учетом связей с окружающей средой) и расчет температуры узлов машины.

Расчет температур узлов выполнен на основе законов Ома и Кирхгофа для тепловой цепи. Предварительно определены термические сопротивления участков и мощности источников тепловыделения, на основе которых сформированы матрицы собственных и взаимных проводимостей узлов и вектор приведенных источников теплоты.

Метод эквивалентных тепловых схем реализован в среде MathCAD. Система уравнений тепловой схемы была решена в матричной форме [3]:

$$\Theta = -\lambda^{-1} \cdot P',$$

где  $\Theta$  – матрица-столбец (вектор) неизвестных температур размерности;  
 $\lambda^{-1}$  – обращенная матрица проводимостей;  
 $P'$  – вектор приведенных источников теплоты (потерь) размерности.

В качестве примера был проведен расчет асинхронного двигателя рДМ180М2 мощностью 22 кВт и величиной линейного напряжения 380 В.

Результаты расчета приведены в таблице.

Результаты расчета температурного режима асинхронного двигателя

№	Название узла	Абсолютная температура, °С
0	Температура внешнего воздуха со стороны выходного конца вала	48,840
1	Температура внешнего воздуха над электромагнитным ядром	47,882
2	Температура внешнего воздуха над подшипниковым щитом со стороны вентилятора	46,348
3	Температура внешнего воздуха между подшипниковым щитом и вентилятором	44,427
4	Температура вентилятора	42,269
5	Температура корпуса со стороны выходного конца вала	55,003
6	Температура корпуса над электромагнитным ядром	57,005
7	Температура корпуса со стороны вентилятора	48,612
8	Температура зубцовой части статора	74,828
9	Температура пазовой изоляции	74,819
10	Температура стали статора	63,867
11	Температура лобовой части обмотки статора со стороны выходного конца вала	104,568
12	Температура пазовой части обмотки статора	97,111
13	Температура лобовой части обмотки статора со стороны вентилятора	97,527
14	Температура подшипникового щита со стороны выходного конца вала	55,001
15	Температура внутреннего воздуха со стороны выходного конца вала	90,476
16	Температура активной части ротора	83,835
17	Температура внутреннего воздуха со стороны вентилятора	49,285
18	Температура подшипникового щита со стороны вентилятора	48,579
19	Температура активной части подшипника со стороны выходного конца вала	86,387
20	Температура активной части подшипника со стороны вентилятора	64,365
21	Температура выходного конца вала в месте посадки подшипника	73,283
22	Температура средней части вала между подшипниковым щитом и местом посадки бочки ротора со стороны выходного конца вала	85,652
23	Температура вала в месте посадки бочки ротора	83,830
24	Температура средней части вала между подшипниковым щитом и местом посадки бочки ротора со стороны вентилятора	69,491
25	Температура вала в месте посадки подшипника со стороны вентилятора	54,495

На основе ЭТС и данной методики были получены абсолютные температуры основных узлов двигателя, значения которых находятся в допустимых пределах. Полученные результаты показывают, что конструкция двигателя и применяемая система охлаждения спроектированы правильно.

Разработанную программу целесообразно использовать для уточненной оценки теплового состояния асинхронных двигателей и эффективности системы охлаждения.

#### Список литературы

1. Борисенко А. И., Костиков О. Н., Яковлев А. И. Охлаждение промышленных электрических машин. М. : Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. Денисенко В. И., Клейменов Е. А. К оценке мощных трансформаторов с принудительным масляно-воздушным охлаждением // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург. 11–14 ноября 2008 г. УГТУ-УПИ, 2008. С. 67–70.
3. Сипайлов Г. А., Санников Д. И., Жадан В. А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. М. : Высшая школа, 1989. 240 с.

УДК 662.99

Бортников М. А., Шемпелев А. Г.  
Вятский государственный университет, г. Киров  
maksimb10@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАТНОЙ СЕТЕВОЙ ВОДЫ НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЭЦ

Известно, что снижение температуры холодного источника является одним из наиболее эффективных способов повышения коэффициента полезного действия прямого термодинамического цикла. В циклах теплофикационных паротурбинных установок к холодным источникам можно отнести воду, охлаждающую конденсатор и сетевую воду, нагреваемую в сетевых подогревателях. Температура охлаждающей воды в основном зависит от температуры окружающей среды, а температура сетевой воды определяется температурным графиком, который также отражает изменение температуры наружного воздуха.

Кроме того, известно, что одним из основных направлений повышения эффективности работы теплофикационных турбин является снижение потерь теплоты в конденсаторах и увеличение доли электроэнергии, вырабатываемой на тепловом потреблении. Указанная цель принципиально может быть достигнута по двум направлениям: за счет полезного использования теплоты отработавшего пара (например, для подогрева технологической и сетевой воды) или за счет уменьшения до предельно допустимого значения расхода пара в части низкого давления (ЧНД) и конденсаторе, охлаждаемого циркуляционной водой.